

**Ailette pour échangeur de chaleur et échangeur de chaleur muni
de telles ailettes**

La présente invention se rapporte à une ailette ondulée pour échangeur de
5 chaleur à plaques et ailettes et à un vaporiseur-condenseur comprenant des ailettes.

Il existe différents types d'échangeurs de chaleur à plaques et ailettes, adaptés chacun à un domaine d'utilisation. L'invention s'applique de façon
avantageuse à un vaporiseur-condenseur d'une unité de séparation d'air ou de
10 mélanges contenant principalement de l'hydrogène et du monoxyde de carbone par distillation cryogénique.

L'invention s'applique en particulier aux vaporiseurs-condenseurs principaux des appareils de distillation d'air. Ces vaporiseurs-condenseurs vaporisent l'oxygène liquide sous basse pression (typiquement légèrement
15 supérieure à la pression atmosphérique) recueilli en bas d'une colonne, par condensation d'azote moyenne pression (typiquement de 5 à 6 bars absolus) circulant dans des passages voisins des passages dédiés à la circulation d'oxygène. L'azote moyenne pression est le plus souvent prélevé à l'état gazeux en tête d'une colonne de distillation d'air à moyenne pression à laquelle la
20 colonne basse pression citée ci-dessus est connectée. Après son passage et sa condensation au moins partielle dans le vaporiseur-condenseur, cet azote est renvoyé dans la colonne moyenne pression. C'est plus spécifiquement dans le cadre de cette application que l'invention sera décrite par la suite, étant entendu que son application peut être envisagée dans d'autres contextes.

25 Le terme « vaporiseur-condenseur » s'applique également aux vaporiseurs dans lequel le fluide de chauffage est un liquide qui est sous-refroidi dans le vaporiseur, au lieu d'un gaz qui s'y condense.

Il s'applique également aux vaporiseurs-condenseurs intermédiaires et de tête de colonne basse pression, aux vaporiseurs-condenseurs de tête de colonne argon, aux vaporiseurs-condenseurs de tête et de cuve de colonne Etienne et
30 aux vaporiseurs-condenseurs de tête de simple colonne.

Les installations de séparation cryogénique de l'air du type à double colonne comportent un compresseur d'air dont la consommation énergétique est conditionnée notamment par la différence de température existant entre

l'oxygène vaporisé dans la colonne basse pression et l'azote présent sous forme condensée dans la colonne moyenne pression. Cet écart de température est lui-même lié à la différence de pression entre les deux colonnes. Une réduction de cette différence de température permet d'améliorer considérablement la consommation énergétique du compresseur d'air, celui-ci devant alors fournir de l'air sous une pression plus faible que dans le cas où la différence de température est plus élevée.

Pour parvenir à ce résultat, il faut obtenir des échanges de chaleur aussi bons que possible à l'intérieur du vaporiseur-condenseur, autrement dit obtenir dans ses différentes parties des coefficients de transfert de chaleur élevés.

Cette optimisation des coefficients de transfert de chaleur a conduit à la conception de vaporiseurs-condenseurs relativement complexes, car les fluides qui les traversent ne se trouvent pas dans le même état physique à tous les niveaux de l'appareil. En particulier, l'oxygène se trouve à l'état entièrement liquide dans la partie inférieure du vaporiseur-condenseur, puis voit sa proportion de vapeur progressivement augmenter au fur et à mesure de son ascension dans l'appareil par effet thermosiphon sous l'effet de son réchauffement par l'azote gazeux.

La technologie couramment utilisée pour ces échangeurs à changement de phase est celle des échangeurs en aluminium à plaques et ailettes brasés, qui permettent d'obtenir des organes très compacts offrant une grande surface d'échange. Ces échangeurs sont constitués de plaques entre lesquelles sont insérées des ondes ou ailettes, formant ainsi un empilage de « passages » vaporisation et de « passages » condensation. Il existe différents types d'ondes comme les ondes droites (Figure 1), arête de hareng (« herringbone », Figure 2) perforées ou à décalage partiel (Figure 3).

Le côté vaporisation d'un « vaporiseur-condenseur » à bain présente deux zones distinctes d'échange :

- Une zone d'échange convectif dans la partie basse du vaporiseur. Les ondes sont en contact avec une phase liquide et réchauffent celui-ci jusqu'à sa température de saturation.
- Une zone d'ébullition où se produit des bulles de vapeur à partir de sites de nucléation. Les ondes sont en contact avec un mélange diphasique

(liquide/gaz). Plus l'échange se situe en haut de l'échangeur, plus le taux de gaz est grand.

Les bulles de vapeur apparaissent sur la paroi dès que la surchauffe locale atteint une certaine valeur appelée $\Delta T_{\text{« onset boiling »}}$ (la surchauffe locale étant l'écart de température ΔT_{sat} entre la température de paroi T_p et la température de saturation du fluide T_{sat}). Cette valeur varie selon le fluide ainsi que la structure et la nature du matériau utilisé.

Les théories classiques de l'ébullition montrent que, pour un écart de température ΔT_{sat} entre la paroi et le fluide à la saturation, il existe une gamme de cavités susceptibles de constituer des sites de nucléation. Cette gamme est limitée par deux valeurs de rayons extrêmes r_{min} et r_{max} . Pour que la cavité de rayon r_{cav} , compris entre les deux valeurs extrêmes soit active, il faut que subsiste constamment une interface liquide-vapeur dans la cavité. Certaines formes de cavité permettent une plus grande stabilité de l'interface liquide-vapeur. Si l'interface est détruite, un écart de température plus grand est nécessaire pour réamorcer le site. La forme des cavités est donc un élément essentiel dans la stabilité du site de nucléation et des performances de la surface d'échange. Une cavité rentrante permet une grande stabilité de l'interface.

Une surface d'échange qui favorise l'ébullition doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Une grande densité de cavités.
- Une taille et une forme de cavités adaptées au fluide.
- Des cavités connectées entre elles pour un réamorçage plus aisé.

Ces caractéristiques se traduisent par un abaissement de la valeur de l'écart de température des premières bulles ($\Delta T_{\text{« onset boiling »}}$) et une augmentation du coefficient d'échange.

L'art antérieur décrit plusieurs méthodes de fabrication de surface intensifiant l'ébullition. Ces méthodes de fabrication peuvent être regroupées en 3 groupes principaux suivants :

30

Méthodes par traitement mécanique :

– **US-A-6 119 770** : fabrication de tubes à surfaces poreuses à l'intérieur ou à l'extérieur du tube. Des rainures sont remplies de particules de métal et déformées.

– **US-A-4 216 826** : des rainures perpendiculaires sont creusées puis déformées à l'aide de rouleaux.

– **US-A-4 060 125**

– **GB-B-1 468 710**

– **US-A-3 906 604, US-A- 3 454 081 et US-A-3 457 990 .**

10 **Méthodes par attaques :**

– **US-A-4 846 267** : après une étape de chauffage et de refroidissement, la surface est subit une attaque chimique en solution acide.

– **WO 0 223 115 (MANQUE UN CHIFFRE ! !)** : amélioration de surfaces de circuits intégrés. Des cavités sont créées par une attaque laser.

Méthodes par dépôts de surface :

– **EP-A-0 303 493** : projection d'un mélange de particules de métal et de plastique sur une surface conductrice. Après vaporisation à 500/600°C des particules plastiques, la surface présente une couche poreuse.

– **US-A- 4 371 034** : configuration de vaporiseur à plaques et utilisant des surfaces poreuses côté vaporisation. La couche poreuse est constituée par bombardement à haute vitesse de particules fondues sur la surface plate ou par collage de particules sur la paroi.

– **FR-A-2 443 515** : fabrication d'une surface poreuse en cuivre. Le procédé consiste à revêtir un tube ou une plaque d'une mousse organique réticulée et à déposer à l'intérieur de cette mousse, un revêtement électrolytique de cuivre. La mousse est ensuite pyrolysée.

– **US-A-4 064 914** : fabrication d'une couche poreuse en cuivre ou en acier sur une base en cuivre ou en alliage de cuivre. Cette couche poreuse est constituée de poudre métallique assemblée par collage puis brasée.

- **US-A-3 384 154** : utilisation d'une couche poreuse pour l'ébullition d'un liquide. Cette couche poreuse doit être liée à une paroi métallique conductrice et constituée de particules conductrices liées entre elles et formant des cavités interconnectées. Les procédures de fabrication sont
- 5 préférentiellement le frittage, la soudure, le brasage et autres procédés. L'épaisseur de la couche poreuse doit être supérieure au diamètre des particules et préférentiellement plus petite que trois fois le diamètre des particules.

Le problème posé est d'obtenir une surface d'échange qui réponde à la fois :

- 10 ○ au fait d'avoir une géométrie d'ensemble de type onde ou ailette pouvant être brasé dans un échangeur, en particulier un vaporiseur-condenseur,
- au fait d'avoir une structure intensifiant l'ébullition et dont les caractéristiques sont une grande densité de cavités, une taille et une forme de cavités adaptées au fluide et des cavités connectées entre elles.

- 15 Les méthodes de fabrication par traitement mécanique nécessitent une certaine épaisseur de la surface conductrice. Ces traitements mécaniques sont difficilement applicables aux ondes utilisées dans un vaporiseur-condenseur puisque les épaisseurs de tôle varient de 0,2 à 0,5 mm.

- 20 Les méthodes d'attaques chimiques ou laser engendrent un état de surface limité puisque celles-ci présentent des cavités à un seul niveau de la surface et non interconnectées.

- 25 Seuls les dépôts de surface présentent une complexité de cavités maximale pour favoriser l'ébullition nucléée. Cependant les techniques proposées dans l'art antérieur, sont des procédés qui ne s'appliquent pas de manière simple à des surfaces d'échange de type onde ou ailette.

Les matériaux frittés sous forme d'onde qui permettent d'obtenir une surface d'échange type onde ou ailette et qui possède une couche poreuse formée d'une pluralité de diamètres de cavités interconnectées :

- 30 Les matériaux frittés (« sintered porous structure ») sont couramment utilisés dans l'industrie pour la filtration des gaz et liquides. Les fabrications standards sont en en acier inoxydable et en bronze. Cependant la fabrication en matériaux fortement conducteur (comme le cuivre ou l'aluminium) est techniquement possible. Ces matériaux poreux peuvent être réalisés à partir de particules de métal ou de fibres métalliques ou encore de toiles métalliques.

Selon l'invention, ces structures poreuses en matériaux fortement conducteurs sont utilisées pour une application de transfert thermique et plus précisément d'ébullition nucléée d'un liquide.

5 Nous décrivons ci-dessous leur mise en œuvre sous forme d'onde ou d'ailette afin de pouvoir être insérée dans un vaporiseur-condenseur à plaques et ailettes brasés.

Un des paramètres qui fait varier la porosité d'un fritté est la taille des particules de métal utilisées. En effet, les diamètres des cavités créés après frittage est directement lié à la taille des particules de métal utilisées.

10 Il est possible de sélectionner une taille de particules de métal à utiliser afin d'obtenir des cavités de diamètre moyen souhaité.

Il s'agit (en majorité) de particules d'aluminium de tailles comprises entre 45 et 200 μm (3% > 200 μm et 15% < 45 μm).

La porosité (après frittage) est de 20%.

15 Il est également possible d'utiliser plusieurs tailles de particules de métal afin d'obtenir une gamme de diamètres de cavités. Puisque la pluralité des diamètres de cavités favorise l'ébullition.

La répartition des diamètres de cavités (taille des particules) est hétérogène (aléatoire) si les particules de métal sont préalablement mélangées entre-elles.

20 La mise en forme d'onde peut se faire soit directement lors du frittage en utilisant des moules en forme d'onde, soit par usinage (électroérosion) de rainures après frittage d'une plaque poreuse épaisse.

25 Un échangeur de chaleur typique est constitué d'un empilement de plaques rectangulaires parallèles toutes identiques, qui définissent entre elles une pluralité de passages pour des fluides à mettre en relation d'échange thermique indirect. Ces passages sont successivement et cycliquement des passages pour un premier fluide, pour un deuxième fluide et pour un troisième fluide.

30 Chaque passage est bordé de barres de fermeture qui le délimitent en laissant libres des fenêtres d'entrée/sortie du fluide correspondant. Dans chaque passage sont disposées des ondes-entretoises ou ailettes ondulées servant à la fois d'ailettes thermiques, d'entretoises entre les plaques, notamment lors du

brasage et pour éviter toute déformation des plaques lors de la mise en oeuvre de fluides sous pression, et de guidage des écoulements de fluides.

L'empilement des plaques, des barres de fermeture et des ondes-entretoises est généralement réalisé en aluminium ou en alliage d'aluminium et est assemblé en une seule opération par brasage au four.

Des boîtes d'entrée/sortie de fluides, de forme générale semi-cylindrique, sont ensuite soudées sur le corps d'échangeur ainsi réalisé de façon à coiffer les rangées de fenêtres d'entrée/sortie correspondantes, et elles sont reliées à des conduites d'amenée et d'évacuation des fluides.

Dans ce domaine industriel, on utilise de façon classique des ondes-entretoises de type à décalage partiel, droites ou droites perforées.

Ces ondes sont généralement faites en feuillard d'aluminium et sont fabriquées soit au moyen de molettes, avec des canaux de section triangulaire ou sinusoïdale et des densités limitées ou dans une presse.

L'objet de l'invention est donc de proposer une ailette qui pallie aux désavantages de l'art antérieur, et qui puisse être utilisée dans des échangeurs industriels, notamment des échangeurs de chaleur à plaques et ailettes d'une unité de séparation d'air ou de mélanges H_2/CO par distillation cryogénique, et en particulier dans un vaporiseur/condenseur.

A cet effet, l'invention a pour objet une ailette ondulée pour échangeur de chaleur à plaques et ailettes, du type ayant une direction générale principale d'ondulation, et comprenant un ensemble de jambes d'onde reliées alternativement par un sommet d'onde et par une base d'onde, caractérisée en ce que les jambes d'onde, les sommets et les bases d'onde sont formés d'un feuillard de particules métalliques frittés.

Suivant d'autres caractéristiques de l'invention, prises seules ou suivant toutes les combinaisons techniquement envisageables :

- les jambes d'onde, les sommets et les bases d'onde forment, en section transversale par rapport à la direction principale d'ondulation, des segments rectilignes, les sommets et les bases étant parallèles entre eux ;
- les particules sont en aluminium, en un alliage d'aluminium contenant au moins 90 % mol. d'aluminium, en cuivre ou en un alliage contenant au moins 90 % mol. de cuivre ;
- l'ailette a une épaisseur entre 0,25 et 0,6 mm ;

- les pores formés dans l'ailette ont un diamètre allant de 10 à 100 μm .

Selon un autre objet de l'inventeur il est prévu un vaporiseur-condenseur, du type comprenant un empilement de plaques parallèles, de barres de fermeture et éventuellement d'ondes-entretoises, qui définissent une première série de passages pour un fluide à vaporiser alimenté en source, et une seconde série de passages contigus aux premiers pour au moins un fluide de chauffage dudit fluide à vaporiser, lesdits passages de la première série sont divisés en trois zones successives, du bas vers le haut du vaporiseur-condenseur :

- une première zone configurée de manière à privilégier les échanges thermiques par convection ;
 - une deuxième zone configurée de manière à privilégier le phénomène d'ébullition nucléée ;
 - une troisième zone configurée de manière à privilégier le phénomène d'ébullition convective ;
- caractérisé en ce qu'au moins la deuxième zone et éventuellement la troisième zone contient des ailettes conformes à l'une quelconque des revendications 1 à 5.

De préférence, ce vaporiseur est du type vaporiseur à bain.

Selon un autre objet de l'invention, il est prévu un vaporiseur-condenseur du type vaporiseur à film contenant des ailettes conformes à l'une quelconque des revendications 1 à 5.

Selon un autre objet de l'invention, il est prévu un appareil de séparation d'air par distillation cryogénique comprenant au moins un vaporiseur-condenseur selon l'une des revendications 6 à 8.

L'appareil peut comprendre au moins deux colonnes thermiquement reliées entre elles au moyen d'un vaporiseur selon l'une des revendications 6 à 8.

Ces ailettes peuvent être de type à décalage partiel, droites ou droites perforées.

L'invention concerne en outre un échangeur de chaleur équipée d'au moins une ailette telle que décrite précédemment.

L'invention sera mieux comprise à lecture de la description qui suit, donnée en référence aux figures annexées, dont les Figures 1 à 3 représentent des ondes selon l'invention et la Figure 4 représente schématiquement un

passage d'un vaporiseur-condenseur selon l'invention, dans lequel circule de l'oxygène à l'état liquide et gazeux.

Une ailette selon l'invention présente des sommets d'onde 121, définis par les sommets des créneaux, plats et horizontaux. Elle présente des bases d'onde 122, définies par les bases des créneaux, également plats et horizontaux. Les sommets et les bases relient alternativement des jambes d'onde planes et verticales 123, dont le plan moyen s'étend perpendiculairement à la direction D1. Les ailettes des Figures 1 à 3 ont une épaisseur t entre 0,25 et 0,6 mm et les pores (non-illustrés) formés dans l'ailette ont un diamètre allant de 10 à 100 μm .

Pour plus de détails concernant la conception d'ensemble du vaporiseur-condenseur selon l'invention appliqué à la distillation d'air, on pourra se reporter de manière non limitative à la demande EP-A-1088578.

Le vaporiseur-condenseur de la Figure 4 est à peu près totalement immergé dans l'oxygène liquide rassemblé dans la cuve de la colonne basse pression d'un appareil de distillation d'air. Un passage est donc alimenté « en source » en oxygène liquide. Cet oxygène liquide pénètre d'abord dans une première zone du passage 2 pour y être réchauffé par l'azote circulant dans les passages contigus du vaporiseur-condenseur. Dans cette première zone, on privilégie les échanges thermiques par convection et on confère aux matériaux qui la constituent une configuration maximisant ce type d'échanges. Typiquement, cette première zone est garnie par des ondes d'échange thermique présentant une forte surface d'échange sans cependant procurer des pertes de charge trop élevées, telles que des ondes à décalage partiel (dites « ondes serrated » Figure 3), ou des ondes droites perforées ou non (Figure 1), ou des ondes de type arête de hareng (Figure 2) « herringbone » définissant des couloirs nombreux et étroits pour le passage de l'oxygène liquide. Une densité de au moins 10 fpi (10 ondes par pouce de largeur soit 3,9 ondes par cm) est conseillée, préférentiellement de 14 à 30 fpi (5,5 à 11,8 ondes/cm). A titre d'exemple, on peut utiliser des ondes à décalage partiel de 26 fpi (10,2 ondes par cm) décalées tous les 1/8 de pouce (3,18 mm). Dans cette première zone, on vise avant tout à obtenir un réchauffement rapide de l'oxygène liquide, de façon à le porter à sa température de saturation. Cette première zone peut s'étendre sur environ 1/3 de la hauteur totale du vaporiseur-condenseur, par exemple sur une hauteur de 40 cm pour un vaporiseur-condenseur de 1,20 m de haut, dimension

qui est classique pour les appareils de séparation d'air. En variante, les ondes d'échange thermique pourraient être remplacées par un garnissage en mousse métallique ou un matériau tel que l'aluminium.

5 L'oxygène montant dans le passage pénètre ensuite dans une deuxième zone 3 où on cherche à favoriser un phénomène d'ébullition nucléée par formation de bulles d'oxygène gazeux sur les parois des ondes se trouvant dans le passage. A cet effet, on utilise des ondes en particules d'aluminium frittées de sorte que les porosités de l'onde multiplient les sites d'amorçage possibles pour la formation des bulles. Des porosités ou micro-reliefs peuvent également être
10 ménagés aussi bien sur les parois des plaques de l'échangeur délimitant le passage. En effet, plus encore que dans la première zone, il importe de limiter les pertes de charge du fluide afin de ne pas gêner l'ascension du mélange oxygène liquide- oxygène gazeux présent.

L'oxygène sous forme liquide et gazeuse montant dans le passage
15 pénètre enfin dans une troisième zone 4 où on cherche à nouveau à favoriser les échanges thermiques avec le fluide traversant les passages contigus. On y vise à se trouver dans un régime d'ébullition convective. Des ondes en particules d'aluminium frittées peuvent également y être installés afin de favoriser l'accroissement des bulles d'oxygène gazeux présentes. Les parois des ondes et
20 des plaques sont couvertes d'une couche d'oxygène liquide à travers laquelle s'effectuent les échanges thermiques. Son épaisseur dépend surtout des conditions d'écoulement du mélange oxygène liquide- oxygène gazeux. Les échanges thermiques sont d'autant plus favorisés que la vitesse du fluide est élevée. Il est donc important de limiter autant que possible les pertes de charge
25 de l'oxygène lors de son ascension dans cette troisième zone. A cet effet pour obtenir un compromis satisfaisant entre faibles pertes de charge et bons transferts thermiques, on peut conseiller de garnir cette troisième zone avec des ondes droites, éventuellement perforées, d'une densité supérieure à 10 fpi (3,9 ondes/cm), mais inférieure ou égale à la densité des ondes utilisées dans la
30 première et, éventuellement, la deuxième zone du passage. Des ondes droites perforées à 5% et d'une densité de 10 à 14 fpi (3,9 à 5,5 ondes/cm) seraient cohérentes avec les exemples précédemment donnés. Les ondes à décalage partiel ne sont ici pas recommandées en raison des pertes de charge assez importantes qu'elles généreraient.

Cette troisième zone peut représenter environ la moitié de la hauteur totale du passage, soit 60 cm pour un vaporiseur-condenseur de 1,20 m de haut.

A sa sortie de la troisième zone 4, l'oxygène gazeux OG émerge du vaporiseur-condenseur et monte vers la tête de la colonne basse pression, alors
5 que l'oxygène liquide OL descend dans la cuve de cette même colonne.

Il va de soi que les exemples qui ont été donnés ne sont pas limitatifs, et que d'autres configurations peuvent être imaginées. En particulier, on peut diviser chacune des zones précédemment décrites en plusieurs sous-zones présentant des surfaces d'échange configurées de manières différentes, pourvu que dans
10 chacune de ces sous-zones on privilégie effectivement le phénomène auquel la zone correspondante est dédiée : échange convectif pour la première zone, ébullition nucléée pour la deuxième zone, ébullition convective pour la troisième zone.

L'invention peut également être appliquée dans des vaporiseurs-
15 condenseurs traitant d'autres gaz que l'oxygène si les avantages qu'elle présente peuvent y être mis à profit.

REVENDICATIONS

1. Ailette ondulée pour échangeur de chaleur à plaques et ailettes, du type ayant une direction générale principale d'ondulation (D1), et comprenant un ensemble de jambes d'onde (123) reliées alternativement par un sommet d'onde (121) et par une base d'onde (122), caractérisée en ce qu'elle est formée uniquement de particules métalliques frittées.

2. Ailette ondulée suivant la revendication 1, caractérisée en ce que les jambes d'onde (123), les sommets (121) et les bases (122) d'onde forment, en section transversale par rapport à la direction principale d'ondulation (D1), des segments rectilignes, les sommets et les bases étant parallèles entre eux.

3. Ailette ondulée suivant la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que les particules sont en aluminium, en un alliage d'aluminium contenant au moins 90 % mol. d'aluminium, en cuivre ou en un alliage contenant au moins 90 % mol. de cuivre.

4. Ailette ondulée suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que l'ailette a une épaisseur (t) entre 0,25 et 0,6 mm.

5. Ailette ondulée suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle les pores formés dans l'ailette ont un diamètre allant de 10 à 100 μm .

6. Vaporiseur-condenseur, du type comprenant un empilement de plaques parallèles, de barres de fermeture et éventuellement d'ondes-entretoises, qui définissent une première série de passages pour un fluide à vaporiser alimenté en source, et une seconde série de passages contigus aux premiers pour au moins un fluide de chauffage dudit fluide à vaporiser, lesdits passages de la première série sont divisés en trois zones successives, du bas vers le haut du vaporiseur-condenseur :

- une première zone (2) configurée de manière à privilégier les échanges thermiques par convection ;

- une deuxième zone (3) configurée de manière à privilégier le phénomène d'ébullition nucléée ;

- une troisième zone (4) configurée de manière à privilégier le phénomène d'ébullition convective ;

caractérisé en ce qu'au moins la deuxième zone et éventuellement la troisième zone et même éventuellement la première zone contient des ailettes conformes à l'une quelconque des revendications 1 à 5.

5 7. Vaporiseur-condenseur selon la revendication 6 caractérisé en ce qu'il est du type vaporiseur à bain.

8. Vaporiseur-condenseur du type vaporiseur à film contenant des ailettes conformes à l'une quelconque des revendications 1 à 5.

9. Appareil de séparation d'air par distillation cryogénique comprenant au moins un vaporiseur-condenseur selon l'une des revendications 6 à 8.

10 10. Appareil de séparation d'air selon la revendication 9 comprenant au moins deux colonnes thermiquement reliées entre elles au moyen d'un vaporiseur selon l'une des revendications 6 à 8.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

1/2

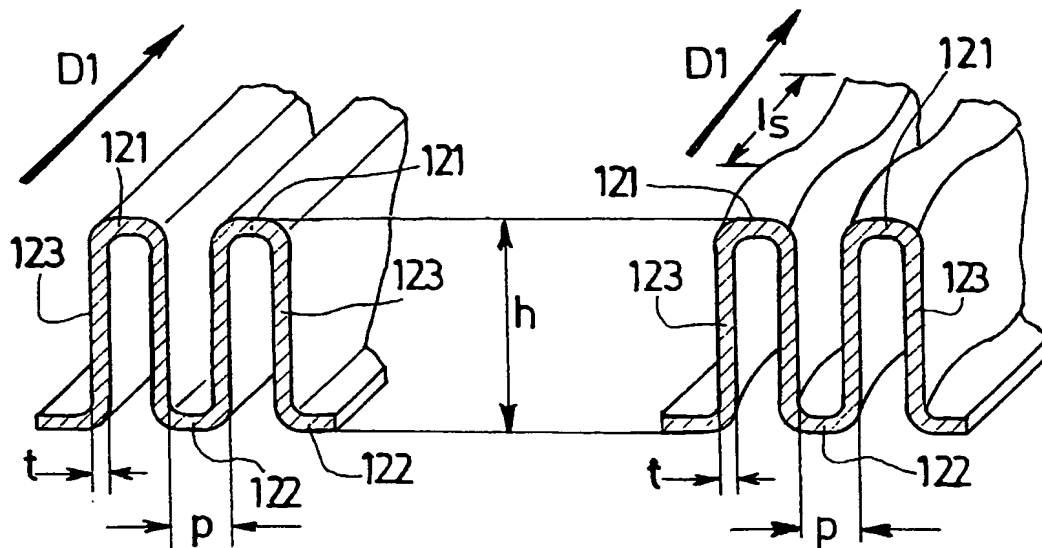


FIG.1

FIG.2

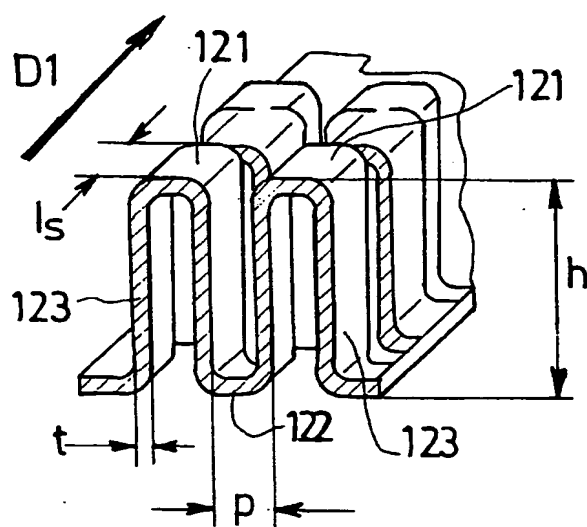


FIG.3

THIS PAGE BLANK (USPTO)

2/2

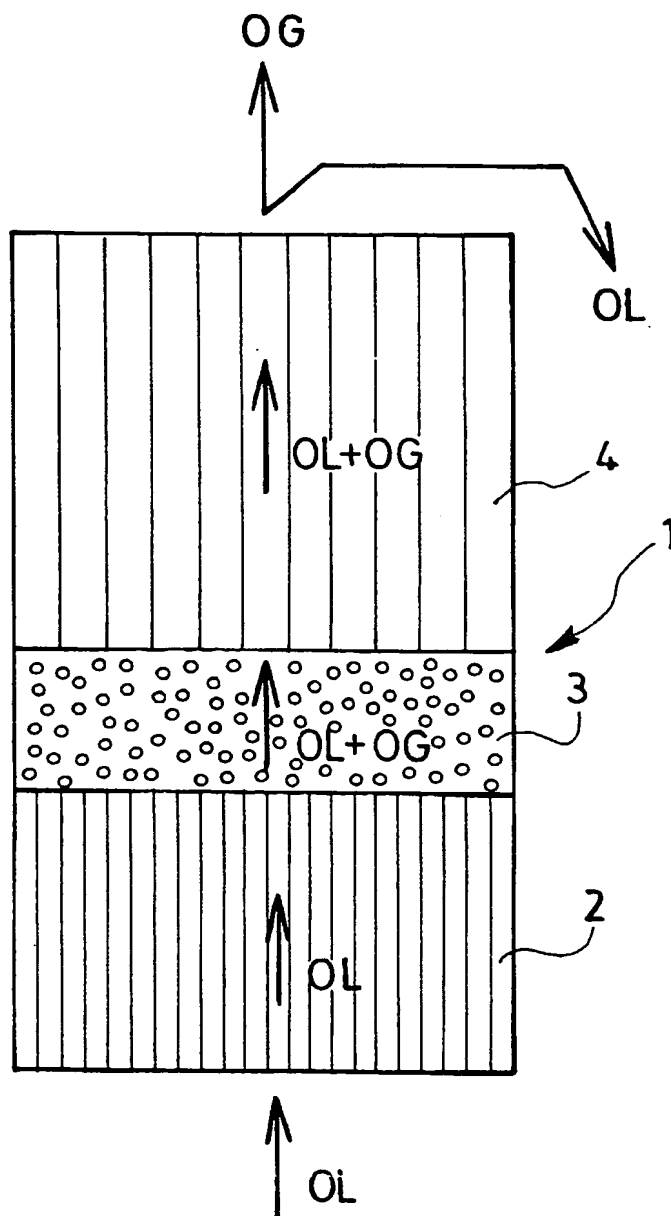


FIG.4

THIS PAGE BLANK (USPTO)